
Desarrollo de Dispositivo Medidor de la Calidad de la Potencia para Sistema Monofásico

Miguel Ángel RIVERO TORRES

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Eléctrico y Electrónico

Director

José Valentín Antonio RESTREPO LAVERDE
Ingeniero Electrónico / Magister en Finanzas

Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingenierías
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Medellín
2014

Dedicatoria

Dedico este trabajo a la memoria de mis padres, hermanos, familiares y todas aquellas personas que de una forma u otra me apoyaron, ayudaron y motivaron a seguir adelante y lograr este objetivo, mi proyecto de vida.

Agradecimiento

Personalmente y bondadosamente expreso mi agradecimiento en primer lugar a Dios por otorgarme la fuerza y la disposición necesaria para llevar a cabo este mi proyecto de grado, a mis padres, hermanos y demás familiares que con sus consejos y apoyo también aportaron a este suceso.

Especialmente quiero expresar mi agradecimiento a mi director de este proyecto José Valentín Antonio Restrepo Laverde por su constante apoyo y asesoría durante el desarrollo de este trabajo, por compartir sus conocimientos y brindarme la asesoría necesaria para culminarlo.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	11
1. ¿QUÉ ES LA CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA (CPE)?.....	12
1.1. Parámetros ideales en la calidad de la CPE.....	12
1.2. Importancia de la CPE actualmente	13
1.3. Niveles de tensión.....	13
1.4. Métodos de medida.....	15
1.4.1. Estándar IEC 61000-4-30	15
1.4.1.1. Instrumentos de medida Clase A	15
1.4.1.2. Instrumentos de medida Clase B.....	16
2. PRINCIPALES PERTURBACIONES EN LACALIDAD DE LA POTENCIA DEL FLUIDO ELÉCTRICO	17
3. DISEÑO DEL DISPOSITIVO MEDIDOR DE LA CPE.....	19
3.1. Etapa de investigación.....	19
3.2. Proceso de diseño	19
4. ENSAYOS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO.....	22
4.1. Correcciones de hardware	22
4.2. Pruebas iniciales	22
4.3. Pruebas de medición.....	23
4.3.1. Medición de tensión	23
4.3.2. Medición de frecuencia	24
4.3.3. Medición de corriente.....	25
4.3.4. Medición y/o detección de fallas eléctricas.....	26
4.4. Pruebas de transmisión de datos por medio de una red WiFi.....	28
4.5. Determinación y/o cálculo del porcentaje de error.....	29
5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS DEL DISPOSITIVO ...	30
6. PROPUESTA DE ACOUPLE DE MEDICIÓN PARA SISTEMAS DE 7,6 kV O UNIDADES RESIDENCIALES	32
7. CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES	37
REFERENCIAS	37
AUTORES.....	39

Lista de Figuras

Figura 1. Sistema ilustrativo de los niveles de tensión del STN. Tomada del estándar CREG 082-2002.....	14
Figura 2. Fallas comunes en el sistema eléctrico.	18
Figura 3. Diagrama esquemático del diseño del dispositivo prototipo. Gráfico de autor.	20
Figura 4. Diagrama PCB del dispositivo prototipo. Gráfico de autor.	21
Figura 5. Montaje utilizado para determinar la relación de medición de la bobina Rogowski. Gráfico de autor.	25
Figura 6. Diagrama esquemático referencia del circuito de protección. Gráfico de autor.	30
Figura 7. Diagrama esquemático del circuito final de protección. L: 2X1.1 mH, C: 1.0 μ F(X2) SH y 2X3300 pF(Y). Gráfico de autor.	31
Figura 8. Niveles de tensión comerciales de transformación. Tomada de catálogo de transformadores de SIEMENS.	32
Figura 9. Transformador de tensión, tipo constructivo según IEC.....	34
Figura 10. Datos técnicos (eléctricos) del transformador.....	34
Figura 11. Datos técnicos (dimensiones) del transformador.....	35

Glosario

ARMÓNICO: “Una componente sinusoidal de una onda periódica o cantidad que posee una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental.” [16]

CALIDAD DE LA POTENCIA (POWER QUALITY): Es el concepto de energizar y aterrizar un equipo sensible de forma que sea adecuado para la operación de ese equipo. En la industria, se usan definiciones o interpretaciones alternas de la calidad de la potencia que reflejan diferentes puntos de vista. Por lo tanto, esta definición puede no ser exclusiva durante el desarrollo de un consenso más extenso.

DISTORSIÓN DE VOLTAJE: Es una variación de la forma de onda senoidal, del voltaje de C. A. de la línea. [11]

DROPOUT: Es la pérdida de la operación de un equipo (señales discretas de datos) debida a ruido, un sag o una interrupción. [11]

FLICKER (PARPADEO): Impresión de inestabilidad de la sensación visual inducida por un estímulo luminoso cuya luminosidad o distribución espectral fluctúa con el tiempo. Variación subjetiva de fluctuación de la luminancia. [11]

FLUCTUACIÓN DE TENSIÓN: Fenómeno que origina distorsión transitoria de la forma de onda de tensión, respecto de su forma estándar. Se dice que existe una discontinuidad del servicio cuando la tensión no sigue la forma de onda estándar. [4]

IC: Integrated Circuit (traducción: circuito integrado).

NOTCH: Es una perturbación por “swicheo” (u otra) de la forma normal de la onda de suministro, que dura menos de 0.5 ciclos, la cual es inicialmente de polaridad contraria que la forma de onda y es así sustraída de la onda

normal en términos del valor pico del voltaje perturbador. Esto incluye la completa pérdida de voltaje por encima de 0.5 ciclos. [11]

PERTURBACIÓN DE VOLTAJE: Es alguna desviación del valor nominal (o de algunas fronteras seleccionadas basadas en la tolerancia de la carga) de las características de la entrada de suministro de corriente alterna (C. A.)

RUIDO: Son señales eléctricas no buscadas que producen efectos indeseables en los circuitos de los sistemas de control en los cuales ocurren.

SAG (HUNDIMIENTO): Fluctuación de tensión caracterizada por producir una depresión transitoria de tensión respecto de la onda estándar. Decremento entre 0.1 y 0.9 pu en voltaje o corriente RMS en la frecuencia de alimentación para duraciones de 0.5 ciclos a 1 min. Los valores típicos son 0.1 a 0.9 pu. [15]

SENSORES: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.

SFR's: Special Function Registers (traducción: registros de funciones especiales).

SOBREVOLTAJE: Cuando se usa para describir un tipo particular de variación de larga duración, se refiere a un voltaje medido que tiene un valor mayor que el voltaje nominal por un periodo de tiempo mayor que 1 min. Los valores típicos son 1.1-1.2 pu. [15]

STN: Sistema de Transmisión Nacional.

SUBVOLTAJE: Se refiere a un voltaje medido que tiene un valor menor que el voltaje nominal para un periodo de tiempo mayor que 1 minuto, cuando se usa para describir un tipo específico de variación de corta duración. Los valores típicos son 0.8-0.9 P. U. [15]

SWELL (PICO): Fluctuación de tensión caracterizada por producir un aumento transitorio de tensión respecto de la onda estándar. Es un aumento en el voltaje o la corriente RMS a la frecuencia de suministro para duraciones desde 0.5 ciclos hasta 1 min. Los valores típicos son 1.1 a 1.8 pu. [15]

Resumen

El proyecto comienza dando una pequeña introducción a lo que se conoce como Calidad de la Potencia Eléctrica (CPE), y con base en esto se plantea y da a conocer al lector la elaboración de un prototipo. Éste cumple con funciones tales como: registro, almacenamiento en memoria, medición y envío de datos de forma inalámbrica a un centro de cómputo (PC). Los fenómenos a estudiar son dos: los *Sag* y *Swell*, los cuales son fenómenos eléctricos que se presentan en la red de distribución de energía. Se brinda al lector una idea de lo que son, que características tienen y debido a que razones y cuando se pueden presentar, sin dejar de lado los posibles daños que estos puedan ocasionarle tanto a los usuarios como a la misma empresa comercializadora. *Copyright © UPB 2014*

Palabras clave: Calidad, Sag, Swell, Medidor, Potencia, Sistema monofásico.

Abstract

The project begins by giving a brief introduction to what is known as the Electric Power Quality (CPE), and based on this arises and introduces the reader to the development of a prototype. This complies with features such as: recording, storing in memory, measurement and sending data wirelessly to a central computer (PC). The phenomena to study are two: the Sag and Swell, which are electrical phenomena that occur in the power distribution network. It gives the reader an idea of what they are, and what features are due to reasons as may occur, without neglecting the potential damage that they can cause you both to users and to the same marketing company.

Keywords: Quality, Sag, Swell, Meter, Power, Phase system.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un prototipo medidor de calidad de la potencia para un sistema monofásico, el cual se fundamenta en la ley de regulación de la calidad de la potencia eléctrica de la CREG, enfocado específicamente en el sector residencial. El prototipo a desarrollar cuenta con una serie de sensores, comparadores y otros dispositivos electrónicos incorporados dentro de un sistema embebido, para realizar el registro de los fenómenos o fluctuaciones que se presentan a nivel eléctrico.

La función de este consiste en detectar dos tipos de fenómenos específicos dentro del comportamiento que presenta la energía eléctrica. Estos fenómenos son los Sag y los Swell, los cuales son fluctuaciones que se presentan debido a la presencia de cargas no lineales en el sistema generando altos y bajos en la tensión. A su vez, conllevan a fallas técnicas de los equipos conectados a la misma red eléctrica. Éstos se analizan constantemente a nivel industrial; pero se pretende implementar su medición a nivel residencial.

Posteriormente, a raíz de las nuevas tecnologías de hoy en día, se desea implementar mediante un sistema inalámbrico, la comunicación de este con un ordenador remoto, el cual servirá como interfaz usuario-máquina e ilustrará al mismo cuando se presentó el fenómeno, de que magnitud fue, y que tipo de fenómeno aconteció.

Finalmente, se planteará una modificación necesaria al sistema para que se pueda utilizar para analizar y/o registrar dichas medidas o registros de los fenómenos eléctricos a un nivel de tensión superior (7.6 kV), y pueda ser empleado en sistemas más amplios (zonas residenciales, unidades, etc.).

1. ¿QUÉ ES LA CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA (CPE)?

Una de las ramas de la Calidad de Servicio de Energía Eléctrica (CEL) es la relacionada directamente a la forma de onda de las señales de potencia (tensión y corriente), y esta ha sido denominada como Calidad de la Potencia Eléctrica (CPE). Está definida por varias entidades a nivel internacional como:

- EPRI (Electrical Power Research Institute): “Cualquier problema de potencia manifestado en la desviación de la tensión, de la corriente o de la potencia, de sus valores ideales que ocasione falla o mala operación del equipo de un usuario.” [2]
- IEC (1000-2-2/4) y la CENELEC (50160): “Una característica física del suministro de electricidad, la cual debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos del mismo.” [6]
- CREG 024(2005): “Para efectos de esta resolución, se define como el conjunto de calificadores de fenómenos inherentes a la forma de onda de la tensión, que permiten juzgar el valor de las desviaciones de la tensión instantánea con respecto a su forma y frecuencia estándar, así como el efecto que dichas desviaciones pueden tener sobre los equipos eléctricos u otros sistemas.” [4]

Para finalizar se entiende que la calidad de energía eléctrica esta enfatizada a la calidad del servicio eléctrico suministrado, donde se garantiza el funcionamiento continuo, adecuado y seguro de procesos y equipos eléctricos, sin afectar el medio ambiente ni el bienestar de las personas.

1.1. Parámetros ideales en la calidad de la CPE

El concepto de parámetros ideales, son el objetivo al que se desea llegar dentro de los parámetros de calidad de la señal, dentro de los cuales se tienen en cuenta los siguientes para una buena calidad del servicio de la calidad de la potencia:

- Frecuencia: 60 Hz o ciclos por segundo
- Amplitud: según la norma de cada una de sus aplicaciones.
- Forma de onda: sinusoidal pura.
- Continuidad: siempre disponibilidad de energía.
- Desbalance o asimetría: alimentación eléctrica balanceada.

Con base en los parámetros anteriores, las entidades proveedoras de energía eléctrica son “obligadas” a mantener un nivel de calidad del suministro teniendo en cuenta todo lo relacionado al mantenimiento de las redes de distribución y los equipos que estas llevan instaladas entregando un suministro en las condiciones más ideales posibles al usuario.

Este nivel de calidad es un proceso complejo debido a que depende de equipos eléctricos que tanto empresa como consumidores utilizan a diario, y también las pérdidas no técnicas existentes en la red.

1.2. Importancia de la CPE actualmente

Hoy día el estudio de la CPE es de suma importancia, debido a que las nuevas tecnologías están desarrolladas bajo ciertos márgenes de tolerancia a sobrecorrientes y sobretensiones. Por ejemplo, estos equipos no son capaces de contrarrestar el efecto del fenómeno eléctrico cuando se presentan algunas fallas por fuera de sus índices de tolerancia. Por ende las empresas generadoras y comercializadoras de energía deben proporcionar energía dentro de estos rangos, promoviendo así, el aumento de productividad y competitividad entre las empresas y dentro de ellas mismas.

Dentro del aumento de competitividad de las empresas se requiere optimizar el proceso de producción de la misma añadiendo:

- La máxima reducción posible de pérdidas de energía.
- Constante mejora en el sistema de control y producción, añadiendo dispositivos electrónicos con mayores capacidades de cómputo y procesamiento de datos de señales, sensores mucho más eficientes, motores, válvulas, etc.
- Evitando el sobredimensionamiento por costos y tarifas.

1.3. Niveles de tensión

Los sistemas de Transmisión Regional (STR) y/o Distribución Local (SDL) se clasifican por niveles, en función de la tensión nominal de operación, según la siguiente definición:

- Nivel 1: $V_{nom} < 1 \text{ kV}$
- Nivel 2: $30 \text{ kV} > V_{nom} > 1 \text{ kV}$
- Nivel 3: $30 \text{ kV} < V_{nom} < 57,5 \text{ kV}$
- Nivel 4: $230 \text{ kV} > V_{nom} > 57,5 \text{ kV}$

A continuación se muestra una figura ilustrativa de lo anterior mencionado en cuanto al STN.

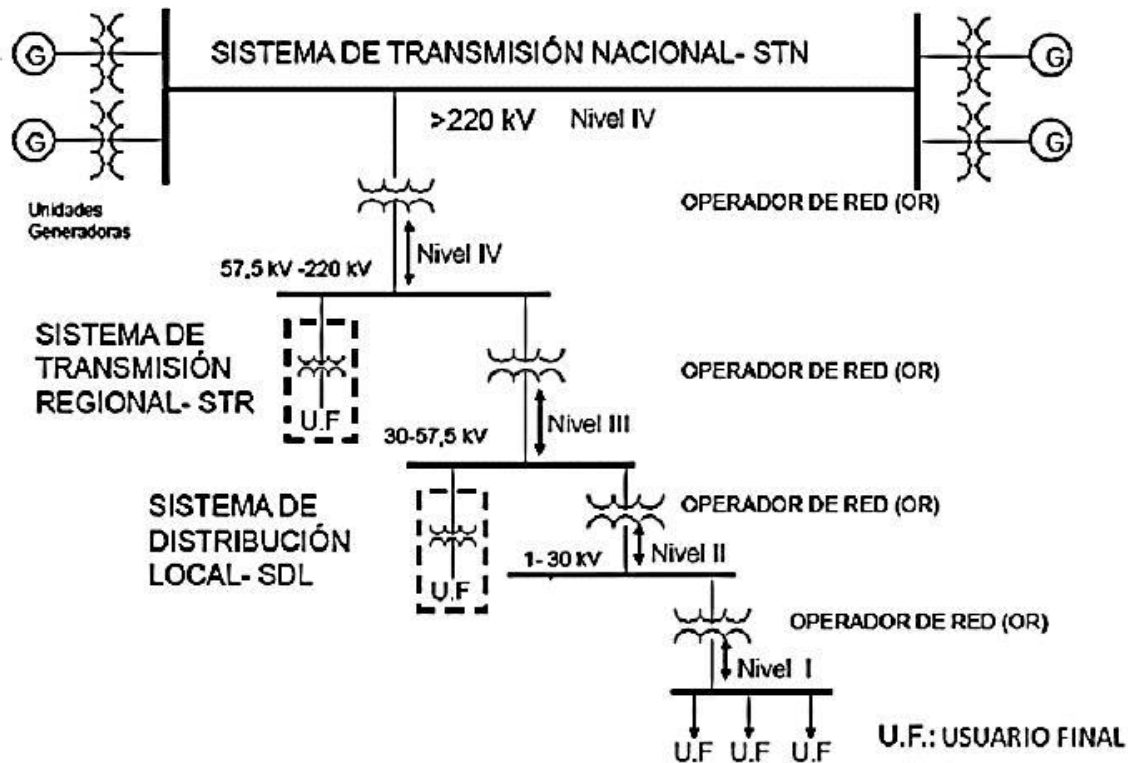


Figura 1. Sistema ilustrativo de los niveles de tensión del STN. Tomada del estándar CREG 082-2002

1.4. Métodos de medida

Dependiendo del tipo de medida que se desee realizar, y la toma de datos que se requieran, existen equipos y/o dispositivos catalogados por clases basados en el estándar IEC 61000-3-40, capaces de realizar tareas de medición muy detalladas y precisas según la exigencia deseada, para redes conectadas al suministro eléctricos de 50 y 60 Hz.

1.4.1. Estándar IEC 61000-4-30

Este estándar tiene como objetivo principal la descripción de los métodos de medición de un gran número de parámetros de la calidad de energía para hacer posible la obtención de información y resultados confiables, reproducibles.

Los parámetros a tener en cuenta son de naturaleza netamente conductiva enfocados a la tensión y corriente de los sistemas eléctricos:

- Medición de frecuencia fundamental de la red.
- Magnitud RMS de tensión y corriente.
- Interrupciones, sobre y subtensiones.
- Desbalance de tensión.
- Flicker de tensión (PST y PLT).
- Transitorios de tensión.

- Armónicos de tensión y corriente.
- Interarmónicos de tensión y corriente.
- Índices de distorsión armónica total de tensión y corriente.
- Tensiones de señalización.
- Cambios rápidos de estabilidad de tensión.

No obstante, la norma no especifica el tipo de diseño del instrumento a usar ni los umbrales de medición de las magnitudes, simplemente da al diseñador una idea de qué parámetros debe tener en cuenta a la hora de la elaboración del dispositivo.

Dentro de los equipos de medida se distinguen dos categorías de instrumentos que se denominan Clase A y Clase B.

1.4.1.1. Instrumentos de medida Clase A

Estos instrumentos de medida se reservan a la solución de litigios contractuales, verificando el cumplimiento de valores y estándares, en donde una baja incertidumbre es mandataria, resolviendo así reclamaciones o disputas entre un operador de la red y el usuario.

1.4.1.2. Instrumentos de medida Clase B

Los instrumentos de la Clase B, manejan un nivel de incertidumbre mayor. Su aplicación está en las investigaciones estadísticas, diagnósticos en instalaciones y la solución de problemas generales de la red.

2. PRINCIPALES PERTURBACIONES EN LACALIDAD DE LA POTENCIA DEL FLUIDO ELÉCTRICO

Según la norma o estándar IEEE 1159 de 1995, los fenómenos electromagnéticos pueden ser de tres tipos:

- Variaciones en la tensión o la corriente en RMS.
- Perturbaciones de carácter transitorio.
- Deformaciones en la forma de onda.

Basados en la norma IEC 61000-1 se puede hacer una clasificación de los fenómenos dependiendo de su frecuencia y el tipo de radiación.

- Fenómenos conducidos de baja frecuencia.
- Fenómenos radiados de baja frecuencia.
- Fenómenos conducidos de alta frecuencia.
- Fenómenos radiados de alta frecuencia.
- Descargas electroestáticas.

En las siguientes tablas se ilustra un resumen de las características típicas de los fenómenos electromagnéticos y se categorizan según su terminación y las fallas más comunes a nivel eléctrico.

Tabla 1. Representación de fenómenos electromagnéticos, IEEE 1159 de 1995

CATEGORÍAS	CONTENIDO ESPECTRAL	DURACIÓN	MAGNITUD DE VOLTAJE
TRANSIENTES IMPULSIVOS			
	Nanosegundos	5 ns rise	< 50 ns
	Microsegundos	1 μ s rise	50 ns – 1 ms
	Milisegundos	0.1 ms rise	> 1 ms
OSCILATORIOS			
	Baja Frecuencia	< 5 kHz	0.3 – 50 ms
	Media Frecuencia	5 – 500 kHz	20 μ s
	Alta Frecuencia	0.5 – 5 MHz	5 μ s
VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN INSTANTÁNEAS			
	Sag (Valles)		0.5 – 30 cycles
	Swell (Crestas)		0.5 – 30 cycles
MOMENTÁNEAS			
	Interrupciones		0.5 cycles – 3 s
	Sag (Valles)		30 cycles – 3 s
	Swell (Crestas)		30 cycles – 3 s

Tabla 2. Representación de fenómenos electromagnéticos, IEEE 1159 de 1995 (continuación)

CATEGORÍAS	CONTENIDO ESPECTRAL	DURACIÓN	MAGNITUD DE VOLTAJE
VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN TEMPORALES			
Interrupciones		3 s – 1 min	< 0.1 pu
Sag (Valles)		3 s – 1 min	0.1 – 0.9 pu
Swell (Crestas)		3 s – 1 min	1.1 – 1.2 pu
VARIACIONES DE LARGA DURACIÓN			
Interrupciones sostenidas		> 1 min	0.0 pu
Bajo voltaje		> 1 min	0.8 – 0.9 pu
Sobrevoltajes		> 1 min	1.1 – 1.2 pu
Desbalance de voltaje		Estado Estable	0.5 – 2%
DISTORSIÓN DE FORMA DE ONDA			
Desplazamiento de C.D.		Estado Estable	0 – 0.1%
Armónicos	0 – 100th H	Estado Estable	0 – 20%
Interarmónicos	0 – 6 kHz	Estado Estable	0 – 2%
Hendiduras		Estado Estable	
Ruidos	Banda – ancha	Estado Estable	0 – 1%
FLUCTUACIONES	< 25 Hz	Intermitente	0.1 – 7%
VARIACIONES DE FRECUENCIA		< 10 s	

En la siguiente imagen se representan los fenómenos eléctricos en estudio, el inicio de la onda representa la fuente, luego se ilustra un sag, un swell y posteriormente una interrupción.

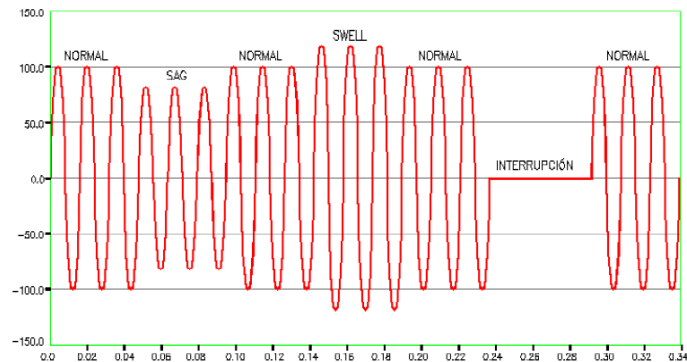


Figura 2. Fallas comunes en el sistema eléctrico.
Tomada de Flechas Villamil J. *Calidad de la Potencia Eléctrica*.

3. DISEÑO DEL DISPOSITIVO MEDIDOR DE LA CPE

3.1. *Etapa de investigación*

Para realizar el diseño del circuito y la tarjeta de desarrollo del prototipo medidor de la CPE, se inició partiendo con la idea de los requisitos o requerimientos mínimos que se necesitan para realizar la adquisición de datos (variables) de interés para su posterior procesamiento. Se inicia planteando un esquema mental del proceso necesario o la manera de capturar dichos datos, por ejemplo la alimentación del circuito, procesado de datos (medición, registro, detección del fenómeno), comunicación del dispositivo y demás requerimientos. Debido a esto se comienza realizando una búsqueda y elección del circuito integrado (microcontrolador) que cumpla con los parámetros o funciones de medida de voltaje, corriente, detección de fenómenos eléctricos, capacidad de almacenamiento interna de datos o externa mediante memorias EPROM.

A raíz de la búsqueda se encuentra un diseño de referencia propuesto y suministrado por Analog Devices en su página web, el cual cuenta con las características antes mencionadas y además cuenta con un sin número de opciones de configuración. Y finalmente se decide trabajar con esta propuesta.

3.2. *Proceso de diseño*

El diseño del circuito se realizó con base en la propuesta de medición encontrada y suministrada por Analog Devices. El

diseño encontrado, fue modificado posteriormente para lograr conseguir un dispositivo enfocado a las funciones de medida que se necesitaban, y más simple, ya que muchas de las partes del diseño de referencia no eran necesarias.

Luego de modificar y definir las partes del circuito referencia y las agregadas posteriormente, se procedió a realizar la construcción del diseño del circuito por medio de la ayuda de la herramienta de software Eagle. Se tiene como primera parte el montaje del circuito esquemático y luego la construcción de la PCB. A continuación se muestran en la Figura 3 y Figura 4 ambos diseños.

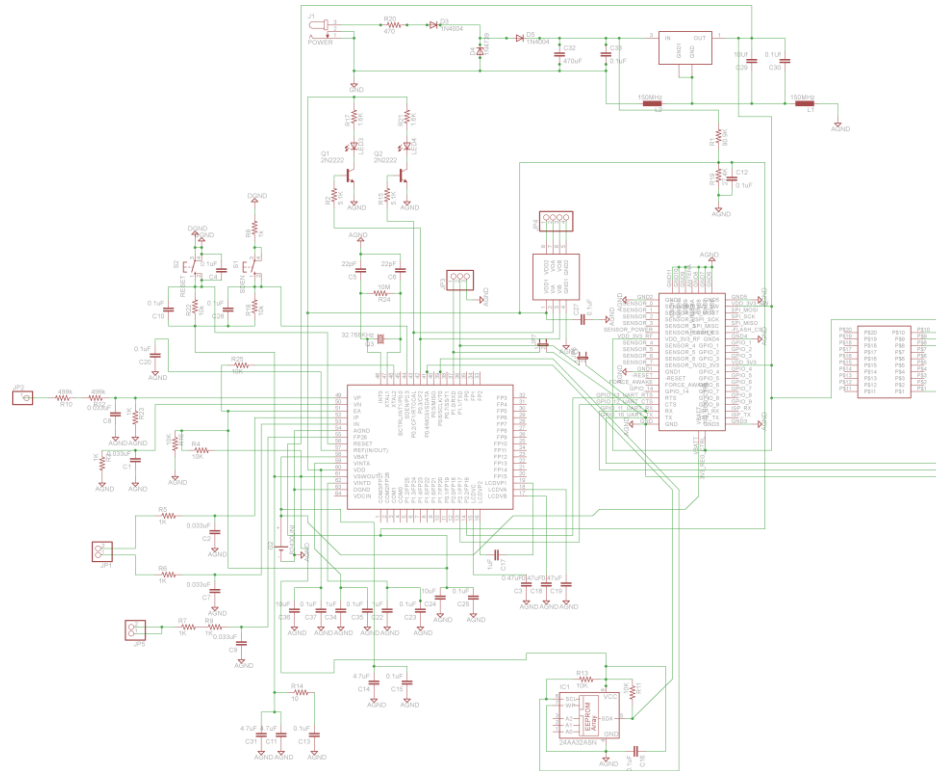


Figura 3. Diagrama esquemático del diseño del dispositivo prototipo. Gráfico de autor.

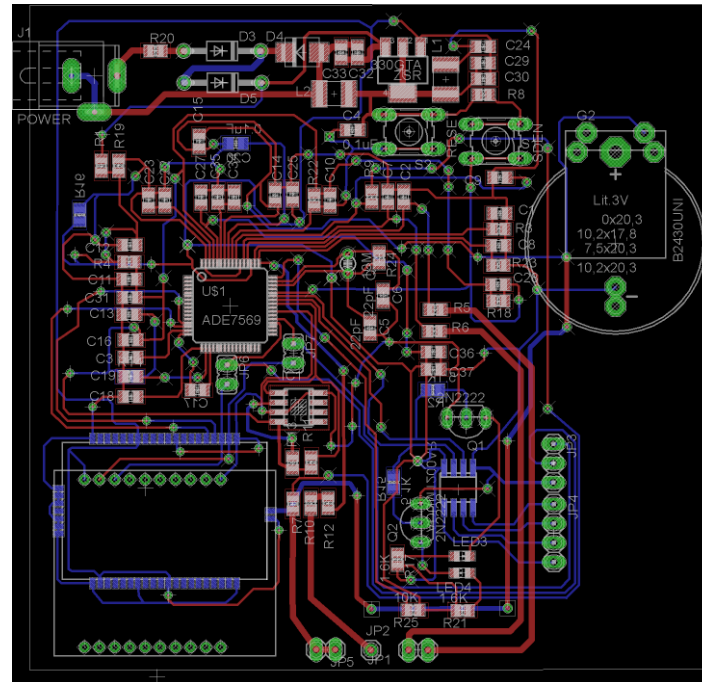


Figura 4. Diagrama PCB del dispositivo prototipo. Gráfico de autor.

4. ENSAYOS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

4.1. Correcciones de hardware

Las correcciones de hardware realizadas al primer diseño del dispositivo prototipo se hicieron de primera mano sobre la marcha como se podían corregir paralelamente o en el momento de realizar las primeras pruebas (como se narra en el siguiente numeral) de funcionamiento del dispositivo (soldando partes o elementos sobre la tarjeta, haciendo puentes, entre otros). Dichas correcciones necesarias para el debido funcionamiento general del dispositivo fueron:

- Se agregó un arreglo de resistencias y condensadores para garantizar el buen funcionamiento del oscilador de frecuencia, ya que dicho agregado era necesario para garantizar la frecuencia de funcionamiento requerida por el microcontrolador y un debido nivel de tensión en los pines del microcontrolador.
- Se agregaron pistas (puentes) del pin de alimentación del micro para suministrar tensión en los pines que presentaban ausencia de ésta y lo requerían y que permiten activar todas las funciones ofrecidas por el IC ADE7569.
- Se agregaron jumpers para crear una división entre la comunicación serial del circuito integrado (pines Tx y Rx) y el módulo WiFi mientras se realizaban pruebas independientes y en conjunto de los dispositivos.

- De forma general se revisó el diseño para corregir la geometría de las pistas para garantizar un buen funcionamiento.
- Se interrumpió una pista que estaba causando cortocircuito, que luego se determinó no era necesaria.
- Se añadió una pista para garantizar el nivel de tensión entre una cara de la tarjeta y la otra, la cual fue tomada del pin de salida del circuito integrado regulador de 3,3 V, debido a que se estaba presentando una caída de tensión.
- Se modificó el diseño inicial para agregar un empaque o encapsulado para el módulo WiFi debido a que no se conocía de primera mano cómo venía finalmente el módulo luego de comprado y no llegó como se pensaba inicialmente según la hoja de datos sino que llegó sobre una tarjeta propia o encapsulado (tenía un montaje propio).

Éstos y otros cambios más se realizaron para posteriormente ser corregidos en la manufactura de un segundo diseño que consideraba todo lo anterior y lograr obtener un dispositivo funcional y sin inconvenientes.

4.2. Pruebas iniciales

Las pruebas básicas iniciales que se le realizaron al dispositivo prototipo fueron para verificar de primera mano el funcionamiento general de todas las partes de interés, como lo son

verificar el correcto funcionamiento de la fuente de alimentación del dispositivo. Ésta la más importante debido a que de ella depende el buen funcionamiento del circuito y para poder suministrar el nivel de tensión requerido por el dispositivo. Se verificó continuidad en todas las pistas de la tarjeta y el correcto funcionamiento de cada uno de sus elementos (el diodo zener 1N4739 de 9V, los diodos rectificadores 1N4004, el circuito integrado ZSR330GCT 3,3V regulador, etc.).

Seguidamente se verificó los niveles de tensión en los pines de alimentación del circuito integrado ADE7569 siguiendo las recomendaciones de la hoja de datos. Se confirmó el debido suministro de tensión para poder establecer un correcto funcionamiento debido a que unos pines debían estar a 3,3 V y otros a 2,5 V y poder activar más adelante las distintas funciones (registros necesarios y código en C) para lograr medir tensión, corriente, frecuencia y detección de fallas.

Luego se comprobó el funcionamiento de los pines de comunicación serial para verificar y asegurar que el IC ADE7569 lograra comunicarse con el módulo WiFi RN-171 (802.11 b/g Wireless LAN de Roving Networks) mediante estos pines. Ésta se llevó a cabo mediante una configuración y activación previa de sus funciones (mediante programación en C), manejo de registros y variables internas del circuito integrado ADE7569. Y así luego intentar transmitir un dato ejemplo por medio de dichos pines, se enviaban caracteres ejemplo como un “hola” o una letra cualquiera. La programación se realizó con ayuda de la herramienta de software MCU 8051 IDE y la visualización de la

transmisión y comunicación serial se hizo por medio del software HERCULES.

Para realizar la prueba de comunicación del puerto serial se necesitó emplear herramientas o equipos externos de hardware entre los que están un cable serial conversor de USB a DB 9, un cable extensión para el puerto DB 9, un circuito externo con el circuito integrado Max232 utilizado para poder establecer una comunicación entre ambos terminales (el PC y el dispositivo prototipo), cable USB para alimentación desde el PC para el circuito externo con el IC Max232 y un cable conector del circuito externo (Max232) a la tarjeta del dispositivo medidor.

4.3. Pruebas de medición

4.3.1. Medición de tensión

Para verificar el funcionamiento de las demás funciones del IC ADE7569 en cuanto a la toma o medición de datos, se inició por la función más sencilla, la cual es la toma de medida del nivel de tensión de un sistema externo, dicha función debía ser programada previa y correctamente en lenguaje C usando el software MCU 8051 IDE, en la cual se necesitó agregar y activar los registros y comandos reservados por el microcontrolador para esta función y así lograr proceder a la medición. Dicha prueba se realizó utilizando los pines del circuito integrado reservados para esta función y además inicialmente con niveles bajos de tensión a 5 VAC y 12 VAC empleando un generador de señales por seguridad y practicidad por su capacidad de generar señales de

tensión a niveles bajos, y finalmente con el nivel de tensión objetivo del prototipo 120 VAC (se midió en una toma de corriente) y así lograr observar que datos arrojaba el microcontrolador, para observar los datos que arrojaba el microcontrolador se utilizó la herramienta de software HERCULES.

De ésta prueba se obtuvieron datos congruentes referentes al nivel de tensión medido. Pero para lograr obtener éstos datos se debía interrogar o leer los registros de funciones especiales (SFR's) del IC ADE7569 reservados para esa función. El acceso a la medición de energía se logra mediante la lectura o escritura de las direcciones correspondientes a los SFR's. Los datos internos se encuentran memorizados byte a byte en los SFR's cuando se lee este. Los registros de funciones especiales son todos de tres bytes. Como para el caso de la tensión, los datos se almacenan en 24 bits, y para lograr leer el dato completo se debe leer el byte más significativo, el byte medio y el byte menos significativo. A continuación se muestra una descripción más detallada a lo que se debe tener en cuenta al momento de leer los SFR's, ya que se debe conocer su nemotecnia y la dirección de los mismos.

Tabla 3. SFR's de medición de tensión

Dirección	Nemotecnia	Descripción
0xD1	VRMSL	Medición en byte más significativo
0xD2	VRMSM	Medición en byte medio
0xD3	VRMSH	Medición en byte menos significativo

El dispositivo transmitía la medición o arrojaba resultados de la medida en un formato numérico hexadecimal, producto del llenado de las tres variables que componían en su conjunto el dato completo (por ejemplo: R1≡VRMSH=09, R2≡VRMSM=30 y R3≡VRMSL=C2). El formato hexadecimal no es entendible de forma general por cualquier persona, lo que conlleva a que se realice una conversión numérica de los datos de este formato a uno decimal para poder representar las mediciones obtenidas en un formato entendible.

4.3.2. Medición de frecuencia

De manera análoga se realizaron pruebas de medición de la frecuencia del sistema teniendo como referencia los mismos niveles de tensión (5 VAC, 12 VAC y 120 VAC) y la previa programación en lenguaje C del microcontrolador. También se obtuvieron datos proporcionados con la medida. Pero esta vez los datos se almacenaban en 8 bits y no en 24 como el caso de la tensión, y de igual forma se debía leer los SFR haciendo referencia a su dirección y nemotecnia indicada en la hoja de datos (se lee el registro PER_FREQ con dirección 0x0A). Seguidamente, los datos capturados en la medición se convirtieron del formato numérico hexadecimal al formato numérico decimal para mejor y fácil entendimiento. Además se necesitó emplear una regla de tres simple para realizar el ajuste final de la medida, ya que al convertir el resultado obtenido anteriormente del formato hexadecimal al formato decimal este

estaba por encima del valor nominal debido a un valor de offset que agrega el circuito integrado en las medidas.

4.3.3. Medición de corriente

A diferencia de los procedimientos anteriores en los que se midió tensión y frecuencia, la medida de corriente se puede realizar mediante de un sistema externo, como una bobina Rogowski, la cual rodea a uno de los conductores del sistema. Antes de empezar a tomar mediciones con el dispositivo prototipo se debe realizar ensayos de medidas en el laboratorio para determinar la relación de medida de corriente que ésta posee y poder tener certeza y conocer la precisión de la medida. Los ensayos de laboratorio anteriormente mencionados se hacen tomando medidas sobre un arreglo de conductores y una resistencia de potencia, a la cual se le varía la tensión en un rango determinado. La prueba se realiza midiendo el voltaje de la bobina. Se varía la tensión cada cierto valor de voltaje, puede ser de forma ascendente o descendente, para luego comparar esta medición con el nivel de tensión en la carga y determinar con mayor certeza la relación de medición y precisión de la bobina Rogowski. En la Figura 5, se muestra una fotografía del montaje que se implementó en el laboratorio, donde se puede observar cada una de las herramientas y equipos usados para este fin.

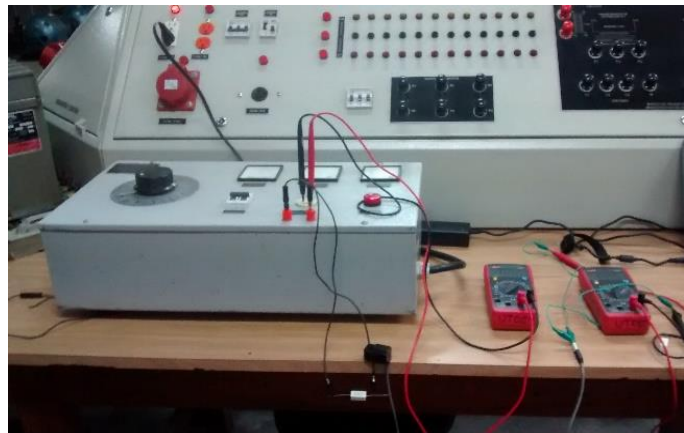


Figura 5. Montaje utilizado para determinar la relación de medición de la bobina Rogowski. Gráfico de autor.

El resultado de las mediciones realizadas para determinar la relación de medición de la bobina Rogowski, puede ser analizado por medio de la herramienta de software Microsoft Excel, en la cual por medio de una gráfica comparativa se puede obtener la linealidad o proporción concreta respecto a la medición de la corriente en la bobina y la tensión en la misma.

Luego de conocer la relación de medición de la bobina, se realiza una prueba de un sistema externo para comprobar que la medida

arroje datos congruentes referentes a la corriente medida con un multímetro u otro instrumento de medida de la corriente. Se debe tener en cuenta que el resultado se escala con la relación de medición determinada experimentalmente.

Al igual que la medición de tensión, para lograr obtener éstos datos se debe leer los registros de funciones especiales (SFR's) del IC ADE7569 reservados para esa función. El acceso a la medición de corriente se logra mediante la lectura o escritura de las direcciones correspondientes a los SFR's. Los datos internos se encuentran memorizados byte a byte en los SFR's. También hay datos que se almacenan en 24 bits, para leer estos se debe tener acceso el byte más significativo, el byte medio y el byte menos significativo. Seguidamente se presenta una descripción más detallada a lo que se debe tener en cuenta al momento de leer los SFR's, ya que se debe conocer su nemotecnia y la dirección de los mismos.

Tabla 4. SFR's de medición de corriente

Dirección	Nemotecnia	Descripción
0xD4	IRMSL	Medición en byte más significativo
0xD5	IRMSM	Medición en byte medio
0xD6	IRMSH	Medición en byte menos significativo

De igual forma que para la medida de tensión, el dispositivo transmite la medición o arroja resultados de la medida en un

formato numérico hexadecimal, producto del llenado de las tres variables que componían en su conjunto el dato completo (por ejemplo: $R1 \equiv IRMSH=09$, $R2 \equiv IRMSM=30$ y $R3 \equiv IRMSL=C2$). El formato hexadecimal no es entendible de forma general por cualquier persona, lo que conlleva a que se realice una conversión numérica de los datos de este formato a uno decimal.

4.3.4. Medición y/o detección de fallas eléctricas

La sección de detección y/o de medición de fallas eléctricas en el sistema se divide en dos partes:

1. Medición de SAG's: para realizar la medición de SAG's, inicialmente se realiza la detección del fenómeno. Se logra registrar e indicar cuando sucede y posteriormente se envía una señal de alarma a través de la red WiFi. Finalmente se procede a la caracterización del fenómeno. Se determina el tiempo de duración, la variación de frecuencia si hubo y la variación de tensión generada durante la falla.

Para realizar la detección de los SAG se debe activar (por medio de programación en C) el SFR que almacena el nivel de tensión de la falla (SAGLVL, address 0x14), y el SFR (SAGCYC, address 0x13) que permite configurar el número de ciclos bajo los cuales se realiza un conteo para considerar una variación de tensión como SAG y hacer más o menos sensible o preciso el dispositivo. También se debe configurar la referencia de

tensión (MDATM=0x13; MDATL=0x20;) a partir de la cual, todo tipo de fluctuaciones en el sistema se van a considerar o identificar como un Sag. Para concretar la detección e indicación del fenómeno el microcontrolador cuenta con un SFR (IPSMF, address 0xF8) y un bit bandera (FSAG, bit address 0xFD) que se encarga de cambiar de estado lógico (0 o 1) según sean las condiciones de la tensión en el sistema, y generar una interrupción o enviar una señal para indicarle al ADE7569 que ha ocurrido un evento y este lo reconozca como SAG. Para ejecutar la caracterización de la falla (SAG) en el sistema se implementó una máquina de estados, la cual se encarga de monitorear constantemente el estado del bit bandera. En caso de una falla se realiza la medición de la misma, arrojando como resultado los datos que la determinan (tiempo de duración y nivel de tensión). Finalmente se puede realizar la transmisión de dichos datos a través de la red WiFi para ser visualizada en el PC de destino para su posterior análisis.

2. Medición de SWELL's: de manera análoga a la detección de SAG's, inicialmente se detecta el fenómeno, luego se registrar e indica cuando sucede, y posteriormente se envía una señal de alarma a través de la red WiFi. Luego se procede a la caracterización del fenómeno, donde el siguiente paso es determinar el tiempo de duración, la variación de frecuencia si hubo y la variación de tensión generada durante la falla.

Para realizar la detección de los SWELL se debe activar el registro de funciones especiales (SFR) que almacena el nivel de tensión de la falla (VPKLV, address 0x16), y se debe configurar el número de ciclos bajo los cuales se realiza un conteo para considerar una variación de tensión como SWELL y hacer más o menos sensible o preciso el dispositivo. También se debe configurar la referencia de tensión (MDATM=0x32; MDATL=0x235;) a partir de la cual, todo tipo de fluctuaciones en el sistema se van a considerar o identificar como un Swell. Para concretar la detección e indicación del fenómeno el microcontrolador cuenta con un SFR (MIRQSTH, address 0xDE) que se encarga de cambiar de estado lógico (0 o 1) según sean las condiciones de la tensión en el sistema, y generar una interrupción o enviar una señal para indicarle al ADE7569 que ha ocurrido un evento y este lo reconozca como Swell. Para ejecutar la caracterización de la falla en el sistema se implementó una máquina de estados, la cual se encarga de monitorear constantemente el estado del SFR para que cada que ocurra una falla permita la medición de la misma, arrojando como resultado los datos que la determinan (tiempo de duración y nivel de tensión). Finalmente se puede realizar la transmisión de dichos datos a través de la red WiFi para ser visualizada en el PC de destino para su posterior análisis.

4.4. Pruebas de transmisión de datos por medio de una red WiFi

Inicialmente, antes de comenzar a realizar ensayos de transmisión a través del módulo WiFi agregado al dispositivo prototipo como se comenta en el siguiente párrafo, primero se hizo necesario aprender a manejar correctamente el módulo y entender su funcionamiento. Para ésta tarea se utilizó un módulo que cumple con las mismas características, permitiendo así realizar pruebas de conexión con la red WiFi de la universidad y de mi domicilio. Ya que resultaba necesario conocer bien el funcionamiento del módulo y entender como se programaba el mismo para lograr crear la conexión de éste con la red WiFi.

Para establecer una comunicación entre el dispositivo prototipo y una red WiFi para realizar la transmisión de los datos por la misma y luego recibirla en un PC, al dispositivo prototipo se le agregó un módulo WiFi con referencia RN-171 (802.11 b/g Wireless LAN de Roving Networks).

Luego de verificar anteriormente el correcto funcionamiento de los pines para comunicaciones seriales del microcontrolador (Tx y Rx) se puede estar seguro que entre ambos elementos existirá una comunicación confiable. Las primeras pruebas que se realizaron con el módulo WiFi fueron para aprender a manejar y programar el mismo, se inició aprendiendo a conectarse a una red WiFi cualquiera, de la cual se conocían todos sus datos nombre, contraseña, y tipo de seguridad de la red, datos necesarios para establecer la conexión con la red. Dicha conexión se logra

mediante el uso de los comandos y procedimiento recomendado en la hoja de datos del módulo, la programación del módulo se realizó por medio del software HERCULES. Y por medio de éste software se logró establecer una comunicación realimentada al PC. Y luego realizar una transmisión de datos y comandos programados en el microcontrolador. Se ensayó la transmisión de datos resultado de la medición de tensión del sistema externo logrando un resultado positivo, y se logró observar un completo funcionamiento del módulo WiFi para este fin.

La programación del módulo WiFi para lograr obtener una conexión con la red WiFi para realizar las pruebas se hizo usando los siguientes comandos, estipulados en la hoja de datos del módulo:

La instrucción \$\$\$, es necesaria antes de intentar introducir los comandos, ya que con esta instrucción se pone el módulo WiFi en modo comando o modo programación. De igual forma cabe resaltar que los comandos no requieren de un orden específico, solo se debe tener en cuenta que al final de la configuración o programación del módulo van las instrucciones *save* y *reboot*.

Tabla 5. Instrucciones para configuración de módulo WiFi

Comando	Función
set wlan ssid <nombre de la red>	Con éste comando se indica el nombre de la red para su identificación por parte del módulo.
set wlan pass <contraseña de la red>	Éste comando se utiliza para indicar la contraseña de la red seguida del comando.
set wlan auth #	Se debe escoger una opción para indicar el tipo de seguridad de la red, cambiando “#” por un número de 0 a 4.
set wlan join 1	En este caso se eligió la opción 1, ésta se usa para activar la auto conexión a la red.
save	Se requiere para guardar cambios.
reboot	Se usa para reiniciar el módulo.

Excel, se logró determinar el valor por el cual las mediciones estaban arrojando resultados por encima de la medida experimental (Ver Anexo 1).

4.5. Determinación y/o cálculo del porcentaje de error

Para realizar el cálculo del porcentaje de error en las mediciones se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%Error = \left(\frac{Energía Registrada - Energía Real}{Energía Real} \right) * 100\% \quad (1)$$

Con esta ecuación y la línea de tendencia en las mediciones (de tensión) encontradas con la herramienta de software Microsoft

5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS DEL DISPOSITIVO

Los dispositivos electrónicos que se utilizan hoy día son cada vez más sensibles, dependientes, para su correcto funcionamiento de la estabilidad y/o calidad de la energía eléctrica. Estos equipos resultan ser vulnerables ante fenómenos eléctricos transitorios que se pueden producir en las redes de transmisión o distribución por distintas condiciones, como lo pueden ser: sobretensiones por fenómenos atmosféricos, sobretensiones de maniobra o conmutación, sobretensiones inducidas por acoplamiento electromagnético. Lo que conlleva a situaciones de aumento o caída de tensión e incluso la interrupción de la misma, y en muchos casos sobre intensidades de corriente, causando así, daños irreparables en los equipos electrónicos.

Debido a lo anterior, y tratándose de éste un proyecto con objetivo detectar y medir fenómenos eléctricos como los SAG y SWELL, resulta necesario proteger el dispositivo prototipo contra grandes variaciones en el sistema y de ruidos eléctricos que puedan alterar las mediciones del mismo. Para proteger el dispositivo prototipo se utilizará un circuito combinado de protecciones contra sobretensiones, cortocircuitos y supresor de distintos fenómenos eléctricos (ruidos) que pueden ocurrir.

Para realizar el diseño del circuito se inicia con una idea de esquema básico del mismo y lograr visualizar como se construirá (ver Figura 7). El circuito consta de un fusible para proteger contra cortocircuitos, un varistor para proteger contra sobre

tensiones y un filtro de línea para evitar que el equipo resulte afectado por variaciones de frecuencia y ruidos eléctricos existentes en el sistema.

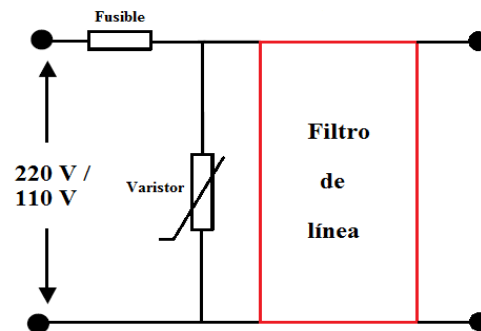


Figura 6. Diagrama esquemático referencia del circuito de protección. Gráfico de autor.

La selección y diseño del circuito se realizó considerando los siguientes aspectos:

1. Elección del fusible: el fusible se escogió teniendo como parámetro referencia el consumo de corriente en condiciones normales y de funcionamiento (transmitiendo datos) del dispositivo, presentando este un consumo de 7,1 mA y 50 mA (en modo de transmisión de datos por WiFi). Parámetros como la intensidad máxima de corriente admisible del conductor protegido y

la sobrecarga transitoria que puede soportar el conductor protegido no se tuvieron en cuenta, debido a que el conductor siendo calibre 20 AWG (para 4 A) soporta o resiste una variación mucho mayor de intensidad de corriente respecto a la consumida por el dispositivo. Por tanto se escogió un fusible para 0,25 A, el cual permite el paso de la corriente nominal necesaria para el funcionamiento del dispositivo. Además dicho valor de capacidad de fusible es el de menor capacidad existente en el mercado.

2. Elección del varistor: para seleccionar el varistor se debe conocer por lo menos la tensión RMS a la que funciona el sistema, tensión pico y/o rangos de variación aceptable de la misma. Para este caso:

- La tensión RMS de funcionamiento, va de 108 VAC a 132 VAC (considerando que puede variar máximo el 10%, teniendo 120 VAC de referencia).
- La tensión pico se calcula así: $V_{pAC} = \frac{120 \text{ VAC}}{0,707} = 169,73 \text{ V} \approx 170 \text{ V}$
- Se multiplica el voltaje de trabajo por un factor de 4 para obtener el voltaje de sujeción (voltaje al que el varistor comienza a absorber energía) del MOV: $V_{suj} = 120 \text{ VAC} * 4 = 480 \text{ VAC}$

Considerando lo anterior y las variaciones de tensión que soporta el dispositivo se elige un varistor de 150 VRMS.

3. Diseño de los filtros anti ruidos: para la elección del filtro para proteger ante ruidos se decidió utilizar un filtro comercial existente para este fin. El filtro es un filtro de línea de 115/250 V a 2 A y 50/60 Hz. Dicho filtro está compuesto en su interior por un arreglo de condensadores y bobinas dispuestos de cierta forma para lograr mitigar los ruidos existentes en la línea de alimentación del dispositivo.

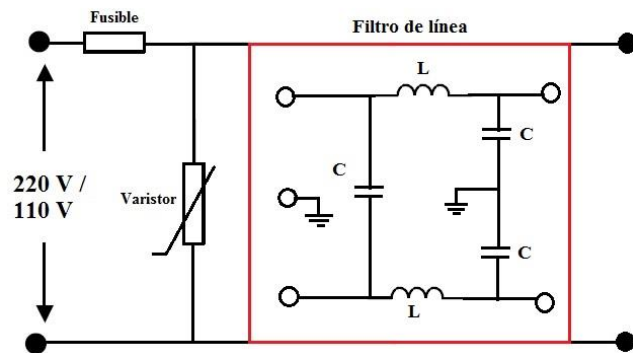


Figura 7. Diagrama esquemático del circuito final de protección. L: 2X1.1 mH, C: 1.0 μ F(X2) SH y 2X3300 pF(Y). Gráfico de autor.

6. PROPUESTA DE ACOPLA DE MEDICIÓN PARA SISTEMAS DE 7,6 kV O UNIDADES RESIDENCIALES

Para realizar mediciones en la red de suministro de unidades residenciales o sistemas con niveles de tensión de 7,6 kVAC, se necesita utilizar un transformador de potencial para medidas, y así realizar un tipo de acople y bajar el nivel de tensión para conectar el dispositivo prototipo.

Para concretar este acople se necesita un transformador que baje el nivel de tensión de 7,6 kVAC a 120 VAC, que cumpla con condiciones de transformación proporcionales para corrientes y tensiones y en fase a valores bajos de corriente y tensión apropiados para fines de medición.

En el mercado existen diferentes tipos de transformadores monofásicos, bifásicos y trifásicos utilizados para realizar todo tipo de medidas, y para elegir el transformador correcto se debe conocer la finalidad del uso del mismo, ya que existen transformadores de potencial, de tensión y de corriente. El objetivo de este proyecto o más bien para este caso se requiere la instalación de un transformador de tensión, debido a que los fenómenos eléctricos en cuestión son los SAG y SWELL, siendo estos fenómenos relacionados con la variación de la tensión del sistema eléctrico.

Los transformadores de tensión contienen un solo núcleo magnético, y normalmente están diseñados con un arrollamiento secundario. En caso necesario, los transformadores de tensión puestos a tierra (monofásicos) disponen de un arrollamiento de

tensión residual adicional aparte del arrollamiento secundario (arrollamiento de medida). A diferencia de los transformadores de corriente, los transformadores de tensión nunca deben ponerse en cortocircuito en el lado secundario. El borne del arrollamiento primario en el lado de tierra está puesto a tierra efectivamente en la caja de bornes, y no debe ser retirado durante el servicio. [19]

Los valores de tensión (primaria U_{pn} o secundaria U_{sn}) que figuran en la placa de características del transformado. Si los transformadores de tensión están conectados entre fase y tierra en redes trifásicas, esta tensión de fase-neutro es la tensión asignada. [19]

Comercialmente existen transformadores para muchos niveles de tensión como se muestra a continuación (ver Gráfico 10).

U_m kV	Tensión primaria asignada kV	Tensión secundaria asignada V
hasta 52	3,3 3,6 4,8 5 6 6,6 7,2 10 11 13,8 15 17,5 20 22 30 33 35 40 45 ó los valores divididos por $\sqrt{3}$	100 110 120 ó los valores divididos por $\sqrt{3}$

Figura 8. Niveles de tensión comerciales de transformación. Tomada de catálogo de transformadores de SIEMENS.

De forma general, para elegir correctamente un transformador se debe conocer o tener en cuenta los siguientes aspectos recomendados por SIEMENS y ABB en sus respectivos catálogos de transformadores de medida:

- Normas y/o especificaciones requeridas para la medición y tipo de construcción del transformador.
- Máxima tensión de la red.
- Nivel de aislamiento nominal y/o rigidez dieléctrica.
- Prueba de tensión de descarga.
- Frecuencia industrial y/o nominal.
- Temperatura ambiental.
- Altitud de la instalación.
- Distancia de fuga.
- Condiciones ambientales y/o niveles de contaminación.
- Carga del viento.
- Caída de tensión.
- Medida de descargas parciales.

Además de las condiciones generales anteriores se debe conocer muy bien o con más detalle las condiciones eléctricas recomendadas por SIEMENS en su catálogo, a la que se encontrará sometido el transformador, dichas condiciones son las siguientes:

- Tensión de servicio (valor máximo).

- Tensión soportada asignada de corta duración a frecuencia industrial (nominal).
- Tensión soportada asignada de impulso tipo rayo.
- Frecuencia asignada.
- Máxima tensión primaria asignada.
- Tensión secundaria asignada.
- Relación múltiple.
- Potencia térmica límite.
- Factor de tensión asignado.
- Potencia térmica límite asignada del arrollamiento de tensión residual.
- Carga de corta duración (mecánica).
- Peso.
- Plano de dimensiones de catálogo.

Luego de conocer todos los aspectos anteriores, los cuales son de suma importancia se puede proceder a seleccionar el transformador.

Teniendo como referencia los aspectos anteriores se plantea la siguiente propuesta de selección del transformador, el cual como condiciones básicas debe ser un transformador de tensión monofásico de 7,6 kV (o un poco por encima), funcional a una frecuencia de 60 Hz. Se elige un transformador de la empresa productora de transformadores SIEMENS, con las siguientes características:



R-HG24-065,eps

Transformador de tensión para exteriores, tipo constructivo pequeño, monofásico, aislado en resina colada; tensión de servicio hasta 12 kV, 24 kV, 36 kV ó 52 kV

4 M S

Figura 9. Transformador de tensión, tipo constructivo según IEC.
Tomada de catálogo de transformadores de SIEMENS.

Nº de pedido	Tensión de servicio (valor máximo)	Tensión soportada asignada de corta duración a frecuencia industrial	Tensión soportada asignada de impulso tipo rayo	Frecuencia asignada	Máxima tensión primaria asignada	Relación múltiple	Potencia térmica límite	Factor de tensión asignado (8h)	Potencia térmica límite asignada del arrollamiento de tensión residual	Carga de corta duración (mecánica)	Peso	Plano de dimensiones de catálogo
	U_N	U_d	U_P		U_{PN}	U_{SN}	S_{th}			N	kg	
	kV	kV	kV	Hz	kV	kV	VA		VA/A			
4MS36	12	28	75	50/60	$35/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}; 110/\sqrt{3}; 120/\sqrt{3}$	400	1,9	230/4	1000	79	20

Figura 10. Datos técnicos (eléctricos) del transformador.
Tomada de catálogo de transformadores de SIEMENS.

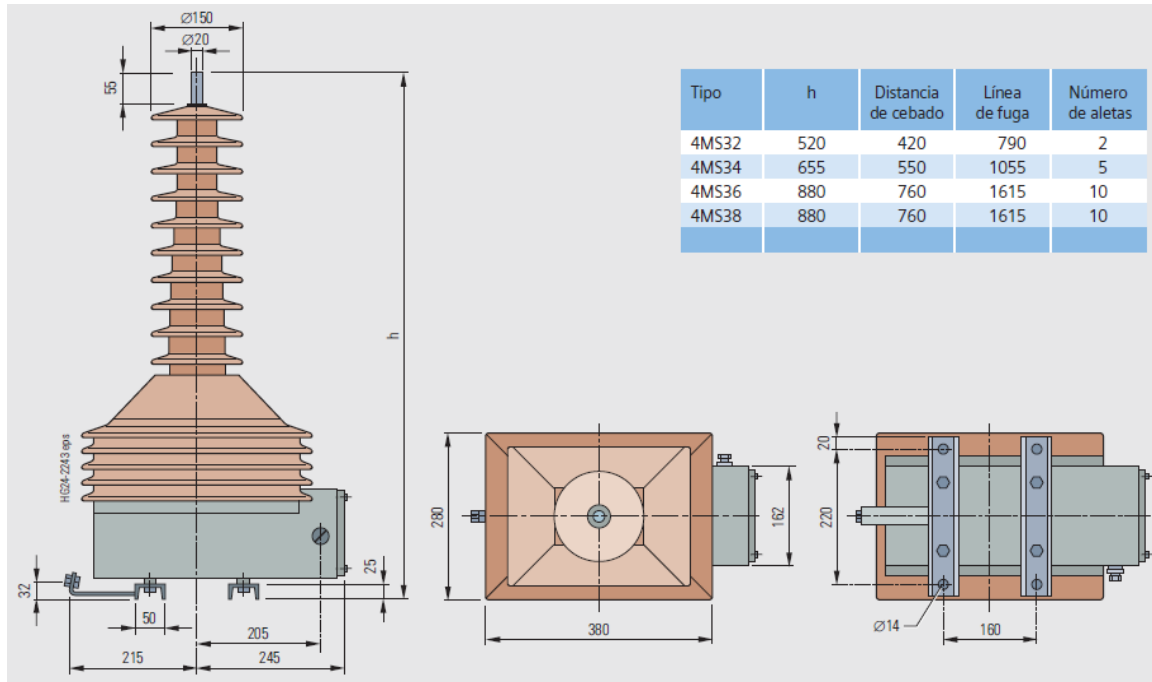


Figura 11. Datos técnicos (dimensiones) del transformador.
Tomada de catálogo de transformadores de SIEMENS.

7. CONCLUSIONES

Las normas o estándares internacionales son de gran ayuda porque a raíz del arduo estudio de fenómenos realizados por dichos organismos se ha logrado caracterizar muy bien los fenómenos eléctricos y permiten conocer a detalle su comportamiento.

Los dispositivos existentes para la supervisión de la calidad de la potencia eléctrica son de suma importancia en nuestro entorno, debido a que si se conoce la calidad de la señal constantemente se puede implementar un sistema de protección adecuado para proteger los equipos eléctricos.

Actualmente la evolución de la tecnología ha permitido tener mejores sistemas de distribución capaces de mitigar fallas eléctricas en el sistema.

Los Sag y Swell son fenómenos eléctricos muy dañinos debido a la reacción de ciertos equipos a las variaciones de tensión, ya que los Sag pueden ocasionar aperturas de relés ocasionando detención de procesos industriales y salidas de sistemas de control de procesos por órdenes erróneas, y los Swell pueden afectar el aislamiento de los equipos generando fallas eléctricas y en casos se queman sus partes internas.

Hoy día sería de gran importancia que las normas internacionales (IEEE, IEC, entre otras) sean adoptadas como obligatorias en Colombia, ya que forzaría en gran medida a preservar una excelente calidad de la energía eléctrica en todos los niveles de tensión.

El dispositivo prototipo desarrollado permite caracterizar de forma muy completa los fenómenos eléctricos Sag y Swell.

La ventaja de transmisión del dispositivo prototipo por red wireless (WiFi) ofrece la posibilidad de fácil conexión en cualquier lugar del sistema de distribución en cuestión o domicilio a realizar el análisis de la CPE.

Con ayuda de la norma IEEE 1159 de 1995 se logró caracterizar de forma adecuada los fenómenos eléctricos bajo estudio (Sag y Swell).

Los transformadores de medida son muy utilizados para el análisis de una red de distribución y su CPE, ya que permiten reducir el de tensión, corriente o potencia a niveles en que se pueden implementar equipos de medición, los cuales por lo general funcionan a bajos niveles de tensión.

Los Sag son fenómenos eléctricos ocasionados por distintos factores en el sistema de potencia, como fallas en líneas de transmisión, falla en las centrales de generación, cortocircuitos, sobrecargas o un elevado consumo de potencia momentáneo en el sistema.

Los Swell en su mayoría son producto de fallas a tierra en sistemas trifásicos, lo que ocasiona un aumento de tensión en las fases no falladas.

RECOMENDACIONES

Como recomendaciones para este proyecto a futuro se pueden desarrollar o agregar las siguientes funciones:

- La medida de corriente.
- La medida de potencia activa, reactiva y aparente.
- Compensación de fase.
- Consumo de energía (Wh).
- Activar la función antifraude del microcontrolador.
- Acoplarlo para niveles de tensión mayores.
- Realizar un nuevo diseño cumpliendo normas y estándares de diseño.

REFERENCIAS

- [1] ABB. *Transformadores de medida exteriores. Guía del comprador*. 2011.
- [2] Betancur E. E., Bohórquez C. A., Díez A., Lopera J. A., y López G. J. *Laboratorios virtuales en Ingeniería Eléctrica, caso de estudio de Calidad de la Potencia Eléctrica*.
- [3] Castañeda O. S. y Castañeda W. J. *Análisis de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto e Influencia de Armónicos de Corriente dentro del Área de Concesión de CNEL-Milagro*.
- [4] CREG. *Comisión De Regulación De Energía y Gas*. Bogotá: CREG, 2.005 3 p. (Resolucion 024 de 2005).
- [5] [2] CREG. *Comisión De Regulación De Energía y Gas*. Bogotá: CREG, 1.998. (Resolucion 070 de 1998).
- [6] Flechas Villamil J. *Calidad de la Potencia Eléctrica. Conceptos Básicos*. Consultado el 09 de febrero de 2014, de <http://empresas.micodensa.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/capacitacion%20calidad%20de%20potencia.pdf>
- [7] FLUKE – *Analizadores de la energía y de la calidad eléctrica de 435 Serie II Fluke*. [http://www.fluke.com/fluke/mxes/Medidores-de-Calidad-de-la-Energia-Elctrica/Logging-Power-Meters/Fluke-435-Series-II.htm?PID=73939], consultado en 2012-11-20.
- [8] IEC. *International Electro-technical Commission - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1: Generalities - Section 1: Application and interpretation of definitions and fundamental terms* (IEC 61000-1-1 (2000-12-15)).
- [9] IEC. *International Electro-technical Commission - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication: IEC, 1.996. 62 p. (IEC/TR3 61000-3-6 (1996-10))*.
- [10] IEC. *International Electro-technical Commission - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2: Environment - Section 2: Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems: IEC, 1.990. 48 p. (IEC 61000-2-2 (1990-05))*.
- [11] IEC. *International Electro-technical Commission - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto: IEC, 1.991. 46 p. (IEC 61000-4-7 (1991-08))*.

[12] IEC. International Electro-technical Commission - *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods*. (IEC 61000-4-30 (2008-10)).

[13] IEEE. Institute of Electric and Electronic Engineers - *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, New York: IEEE, 1.992. 50 p. (IEEE Standard 519 – 1.992).

[14] IEEE. Institute of Electric and Electronic Engineers - *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, New York: IEEE, 1.992. 101 p. (IEEE Standard 519 – 1.992 Draft 5).

[15] IEEE. Institute of Electric and Electronic Engineers - *Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment*, New York: IEEE, 1.999. 121 p. (IEEE Standard 1100 – 1.999, Revision of Std . 1100/92).

[16] IEEE. Institute of Electric and Electronic Engineers - *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, New York: IEEE, 2.009. 101 p. (IEEE Std 1159™-2001).

[17] IEEE. Institute of Electric and Electronic Engineers - *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, New York: IEEE, 2.009. 101 p. (IEEE Std 1159™-2009).

[18] IEEE Institute of Electric and Electronic Engineers - *Guide for Application of Power Electronics for Power Quality – Part 4: Definitions* (IEEE Std 1409™ - 2012).

[19] SIEMENS. *Transformadores de proteccion y medida 4M. Equipos de media tensión. Datos de selección y pedido*. Catálogo HG 24 - 2009.

AUTORES



Miguel Ángel RIVERO TORRES, nacido en Montería, Córdoba, Colombia. Estudiante de décimo semestre de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana. Diplomado en Gestión de Proyectos de Ingeniería (2014). Egresado de la Institución Educativa José María Córdoba promoción de 2006.



José Valentín Antonio RESTREPO LAVERDE, Docente Titula de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana. Magister en Finanzas e Ingeniero Electrónico. Sus principales líneas de investigación son el área de Bioingeniería y Microelectrónica.